

УДК: 342.8+519.816
JEL Classification: F47
doi: 10.31767/nasoa.4-2020.13

М. Є. СІНИЦЬКИЙ,
кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри економіко-математичних дисциплін
та інформаційних технологій,
Національна академія статистики, обліку та аудиту,
e-mail: papathryl@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-2954-615X

Виборчі системи у цифрову епоху: базові проблеми та нові можливості. Частина I. Огляд проблематики, класичні протоколи колективного вибору

У частині I з теоретичних позицій розглянуто причини необхідності реформування виборчого процесу в Україні. Сформульовано мету та задачі дослідження. Проаналізовано класичні математичні моделі виборчих технологій, обрані для порівняння, із сучасними підходами.

Частина II містить аналіз принципів вибору методик вимірювання результатів схвального голосування. Розглянуто питання визначення вербально-числової шкали, оцінювання узгодженості індивідуальних рішень, що приймаються виборцями, та застосування статистичних критеріїв для отримання консолідованого результату.

У частині III розглянуто моделі, обрані для розрахунків підсумкового виборчого рейтингу. Наведено математичні алгоритми багатокритеріального вибору на основі кваліметричного підходу та парних порівнянь за чотирьма варіантами шкал. Описано протоколи визначення консенсусних альтернатив з використанням методу Topsis, медіани Кемені – Янга, евристичної процедури Шульце та нечітко-множинного підходу.

Остання, IV частина містить результати апробації обраних протоколів системи схвального голосування для моделі виборів з 4 кандидатів за 7 питаннями виборчого бюлетеня. Наведено алгоритм і результати генерації за методом Монте-Карло масивів вихідних даних розміром 10000 записів, які мають рівномірний та нормальний розподіл з трьома варіантами параметру зміщення. Для виявлення чутливості досліджуваних протоколів до порушень транзитивності профілів індивідуальних переваг здійснено трансформацію первинних масивів даних шляхом заміни нетранзитивних профілів на еквівалентну кількість транзитивних без надання переваги будь-якій альтернативі.

На основі оцінки кореляції підсумкових рейтингів, їх чутливості до типу розподілу і до порушень транзитивності індивідуальних суджень зроблено висновок про доцільність використання медіани Кемені для визначення підсумків голосування. Застосування запропонованого методу трансформації первинних даних також уможливорює використання протоколів Кондорсе, Доджсона, Сааті та Шульце.

Результати дослідження свідчать про існування принципової можливості переходу до нової цифрової парадигми виборчого процесу, основаної на схвальному принципі голосування.

Ключові слова: суспільний вибір, схвальне голосування, класичні виборчі технології, узгодженість думок виборців, нечислова статистика, порядкові шкали, арифметизація шкал, узгодженість профілів, коефіцієнт Кендала, лінійна зортка, ваги критеріїв, нелінійне шкалювання, індекси узгодженості, вербально-кількісні шкали, кваліметрія, парні порівняння, медіана Кемені, евристика Шульце, нечіткі множини, метод Монте-Карло, профілі голосування, транзитивність, *p-value*.

M. SINYTSKYI,

*PhD (Phys.-Math.) Associate Professor,
Associate Professor of Economic and Mathematical Disciplines
and information technology,
National Academy of Statistics, Accounting and Audit*

Electoral Systems in the Digital Age: Underlying Challenges and New Opportunities

Part I. A Review of the Problems, Classic Protocols of Collective Choice

The article is devoted to the problem of democratic development of Ukraine.

The reasons for the need for a radical transformation of the electoral process in Ukraine have been considered from a theoretical standpoint. The main goal and sub-goals of the research have been formulated. The classical mathematical models of electoral technologies, selected for comparison with modern approaches have been described.

The basic principles of selection of methods for measuring the results of approval voting have been analyzed. The issues of constructing a verbal-numerical scale, assessing the consistency of voter decisions and applying statistical criteria to obtain a consolidated result have been considered.

The models selected for calculating the final election rating are analyzed. Mathematical algorithms of multicriteria selection based on the qualimetric approach and pairwise comparison on four variants of scales are given. Protocols for determining consensus alternatives using the Topsis method, the Kemeni – Young median, the Schulze heuristic procedure, and the fuzzy set approach are described.

The results of approbation of the selected protocols of approval of the voting system for the election model of 4 candidates on 7 questions of the ballot paper are given. The algorithm and the results of generating by the Monte Carlo method arrays of initial data with a size of 10,000 records, having a uniform and normal distribution with three variants of the bias parameter, are presented. To identify the sensitivity of the studied protocols to violations of the transitivity of individual preference profiles, the primary data arrays were transformed by replacing the nontransitive profiles with an equivalent number of transitive ones without presenting a preference to any alternative. Based on the assessment of the correlation of the final ratings, their sensitivity to the type of distribution and to violations of the transitivity of individual judgments, it was concluded that it is advisable to use the Kemeny median to determine the voting results. The use of the proposed method for transforming primary data also makes it possible to use the Condorcet, Dodgson, Saati and Schulze protocols. The results of this study indicate that there is a fundamental possibility of transition to a new digital paradigm of the electoral process based on the approving principle of voting.

Keywords: *public choice, positive voting, classical election technologies, coherence of voters' opinions, non-numerical statistics, ordinal scales, scale arithmetic, profile consistency, Kendall coefficient, linear convolution, criterion weights, nonlinear scaling, consistency indices, verbal-quantitative scales, qualimetry, pairwise comparisons, Kemeni median, Schulze heuristics, fuzzy sets, Monte Carlo method, voting profiles, transitivity, data consistency, p-value.*

Постановка проблеми. Прогрес інформаційних технологій (ІТ) поступово приводить до змін соціально-політичних відносин у суспільстві. ІТ стають все більш потужною рушійною силою системного розвитку та демократизації України. Існує потреба реформування виборчих технологій в Україні на різних етапах їх реалізації, аби вибір керманівців пересічною людиною в повній мірі відповідав її прагненням.

Одним зі шляхів розвитку України в цьому напрямі є впровадження у виборчу практику сучасних, складніших за прийняті, але значно ефективніших методів відбору альтернатив на основі їх ранжирування за ординальними критеріями.

Як відомо, процедури ранжирування (рейтингування) використовуються в різноманітних конкурсах, оцінюванні досягнень і ризиків, контент-аналізі, визначенні

консолідованої думки експертів та ін. Їх передусім застосовують в ситуаціях, що відносяться до слабо формалізованих предметних областей прийняття рішень.

На практиці технології ранжирування найкраще відпрацьовані для задач експертного оцінювання, коли інформація аналізується невеликою групою людей з достатнім інформаційним потенціалом. Хоча і тут існують проблеми, особливо в частині побудови якісної системи вимірювання, що має збільшувати інформаційне наповнення відповідей експертів і зменшувати ризик маніпулювання ними.

Що стосується соціального (групового) вибору шляхом голосування, тут ситуація є значно складнішою, оскільки різні системи (протоколи) голосування можуть давати несумісні результати навіть за виконання всіх умов “чесності” виборів [1, с. 294], а в діях пересічних виборців може проявлятися непослідовність, пов’язана з невизначеністю, невпевненістю або навіть із безвідповідальністю, що кардинально відрізняє їх поведінку від дій експертів. Найважчою вважають проблему визначення консолідованої думки виборців (процедури узгодження індивідуальних пріоритетів виборців у спосіб, що максимально влаштовує все суспільство). Вирішенням цієї проблеми займається вже не одне покоління вчених [2–23]. В останні десять років з’явилась нова галузь знань – обчислювальний соціальний вибір (COMSOC). Один із напрямків її розвитку – використання комп’ютерних наук у вирішенні проблем соціального вибору [24, 25].

Названа проблематика, на нашу думку, відчутно проявляється у технологіях підготовки та проведення референдумів і виборів органів влади в Україні [26]. На етапі висування кандидатів до виборчих партійних списків, як і розподілу мандатів, домінують неоптимальні методи відбору та ранжирування кандидатів, у яких суб’єктивні фактори (наприклад, відданість керівництву) виходять на перший план. Передвиборні дискусії (і не тільки в Україні) часто більше нагадують конфронтацію, ніж конструктив (у плані виявлення чітких відмінностей між кандидатами/партіями), а оцінки спеціалістів щодо винесених питань, як правило, слабо впливають на електоральні переваги людей, розчиняючись в океані конформізму, піару, керованого мислення та корисних ідей, які цілеспрямовано впроваджуються політичними елітами або коаліційними силами за допомогою засобів масової комунікації, особливо соціальних мереж¹ в Інтернеті, що стали руйнівною силою політичної реклами. Наприклад, відомо, що користувачі Інтернету витратили близько одного мільярда хвилин на перегляд відеороликів Б. Обами на його каналі в YouTube, а Д. Трамп удвічі випередив Х. Клінтон за кількістю постів на його користь, не кажучи про те, що свою виборчу компанію він проводив протягом попередніх 15 років, у тому числі через найвідоміший телесеріал «Симпсони» [27–30]².

Відчутний вплив на результати виборів Президента України справляє й застосовувана двохтурова (класу “ВВ” [5]) виборча технологія, недоліки якої добре відомі [4, 8, 11, 13, 14, 19, 31]³. Існує думка, що обирати керівників держави широким загалом взагалі неможливо [32, с. 139].

Теоретично доведено [3, 7], що універсального демократичного вибору не існує й компромісу слід досягати застосуванням процедури голосування, оптимальної для конкретної ситуації. Проблема її вибору чи побудови є складною і, як свідчить дійсність, залишається актуальною та має вирішуватися в нашу цифрову добу.

Аналіз базових досліджень і публікацій. Відомі чисельні моделі побудови рейтингів на основі різноманітних правил голосування [2–18, 21, 23, 24, 31] та сформульовані і розвинуті нобелівськими лауреатами К. Ероу і Л. Гурвіцем [4, 7] теоретичні обмеження щодо таких правил, а також варіанти їх послаблення чи обходу [4, 8, 9, 11, 15, 17, 19, 23, 33, 34].

Було доведено, що неможливо цілком і повністю покладатися на результати голосування за правилом більшості, оскільки вони суттєво залежать від регламенту прийняття рішень (“архітектури” голосування) [1, с. 311; 4, с. 396; 6, с. 150; 12, с. 161; 17; 22, с. 123; 35; 36, с. 75; 37, с. 21; 38, с. 16]. Наприклад, виборці, часто віддають свій голос не тим, кого в дійсності підтримують, а тим, хто буде обраний з більшою ймовірністю, чим

1. *Огляд моделей впливу на думки користувачів соціальних мереж див. [39, 40].*
2. *У Google Trends можна також подивитися активність “Russian hackers” з 1.08.2016 по 1.04.2017 р.*
3. *При вибуванні кандидатів, зокрема, порушується властивість монотонності справедливого соціального вибору [4, с. 352; 14, с. 25; 31, с. 6].*

порушують один із принципів раціонального вибору – його монотонність [15, с. 279; 16, с. 21]. Іноді виборці приходять до такого рішення при багатотуровому голосуванні, під впливом СМІ, протестних настроїв чи емоцій.

При використанні технології схвального (альтернативного, преференційного [41]) голосування виборець не відчуває подібного тиску. В системі схвального голосування можна одночасно голосувати за багатьох кандидатів [6, с. 32; 16, с. 124; 18, с. 290]. Перемагає кандидат, який набрав більшість голосів. В таких країнах, як Австралія, Гонконг, Естонія, Ірландія, Нова Зеландія, Мальта, Північна Ірландія, Фіджі, а також на муніципальних виборах у деяких містах Канади та США діє рейтингова система волевиявлення: виборці самостійно складають рейтинг претендентів при заповненні виборчого бюлетеню, а далі будується узагальнений рейтинг.

У деяких виборчих системах рейтингування комбінується з перерозподілом голосів: якщо один із кандидатів посів перше місце в більш ніж у половині бюлетенів, він стає переможцем, а якщо ні, тоді з розгляду вилучається кандидат, який знаходиться на останньому місці рейтингу, а віддані йому голоси перерозподіляються між кандидатами пропорційно числу виборців, які проголосували за кожного з них. Процес може повторюватися, поки один із кандидатів не отримує більшість. Недоліком рейтингової системи голосування з перерозподілом голосів є порушення принципу монотонності [4, с. 352; 14, с. 25; 31, с. 6].

Певним гальмом на шляху вдосконалення виборчих систем в Україні залишається догма, що система голосування має бути простою й прозорою для виборця. Змінити це уявлення на довіру до сучасних методів оброблення великих даних (big data) мають освіта та політична воля керівництва державою. Автоматизація розрахунків результатів виборів – запорука успіху. Але без ускладнення розрахунків при удосконаленні виборчих систем тут не обійтись. Про це свідчить досвід країн, що перейшли на систему схвального голосування.

Тема виявлення, порівняння та агрегації думок людей не нова для психологів, медиків, соціологів, освітян-тестологів, менеджерів і кібернетиків, які займаються проблемами штучного інтелекту. Зі створенням теорії нечітких множин (НМ) [42–44] з'явилися нові можливості використання лінгвістичних шкал у технології експертного оцінювання [21, с. 234] та, сподіваємось, масових виборів голосуванням.

На пострадянському просторі цей підхід, щоправда в задачах невеликої розмірності, цілеспрямовано розвивався авторами [45]. Ними було сформовано методологію розрахунку функцій належності (ФН) терм-множин, які утворюють так звану систему повних ортогональних семантичних просторів (ПОСП), а на її основі – систему нечіткої класифікації та побудови інтегральних рейтингів елементів НМ [46–49].

Серед вітчизняних науковців методи прийняття рішень з використанням НМ активно досліджувалися П. І. Бідюком, А. Ф. Волошиним, М. В. Герасимовим, А. В. Катренко, О. С. Коцюбою, О. Д. Лук'яненко, А. Д. Матвійчуком, С. О. Мащенко, І. В. Мірошніченко, Н. І. Недашківською, Н. Д. Панкратовою, О. М. Сікозою В. Г. Тоценком, Л. С. Файнзильбергом, С. Д. Штовбою, Н. А. Яремчук та іншими.

Публікації з використання НМ у технологіях великомасштабних виборів автору не відомі.

Мета й задачі дослідження. Мета дослідження – розробити нову модель системи виборів в Україні. Основні задачі дослідження:

- моделювання виборчого процесу з використанням “класичних” процедур прийняття колективних рішень на даних, отриманих за методом Монте-Карло з різними типами й параметрами розподілу;
- дослідження можливості застосування відомих сучасних технологій експертного оцінювання, а саме: багатокритеріального підходу до вибору альтернатив із використанням сучасних методів пошуку консенсусу (медіани Кемені, TOPSIS, евристики Шульце) у великомасштабному виборчому процесі;
- апробація апарату НМ для знаходження рейтингу кандидатів за результатами великомасштабних соціологічних опитувань або виборів за схвальною системою;
- порівняння опробуваних методів моделювання та оброблення даних виборчих перегонів.

Методики дослідження.

Виборчі системи в Україні здебільшого побудовані на **правилі відносної (мажоритарної) більшості** [13, с. 31; 14, с. 13; 15]. Згідно з цим методом кращим загалом вважається варіант, за який проголосувала кількість виборців, частка яких від усіх, хто проголосував, більше чи дорівнює k -порогу (квоті) більшості. Якщо квота не встановлена, тоді перемагає альтернатива, яка набрала відносну більшість голосів. На виборах Президента України застосовується варіант цього правила – відносна більшість у два тури, коли у другий тур виходять претенденти, які набрали максимальну кількість балів у першому турі. Це правило також поширюється на рейтингове голосування, побудоване на принципах парних переваг, за умови, що профілі всіх виборців представляють відношення лінійного порядку, а байдужість заборонена [8, с. 2].

Правило Борда́ (1770) [11, с. 100; 13, с. 33; 15, с. 298] відоме як перша в історії ранжирувальна процедура колективного вибору, яка дозволяє враховувати інтереси активної меншості та може порушувати критерій більшості [13, с. 38]. За правилом Борда́, i -й виборець, голосуючи, ранжирує кандидатів і присвоює їм певні бали, або, що рівнозначно, заповнює квадратну матрицю парних порівнянь, рядки якої представляють так звані профілі переваг $L(a_{ij})$, побудовані на приписуванні переможцю пари балів з використанням бінарної шкали:

$$L_{ijh} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } a_{ij} > a_{ih} \\ 0, & \text{якщо } a_{ij} \leq a_{ih} \end{cases} \quad i = \overline{1, N}; j = \overline{1, M}, \quad (1)$$

де бінарне відношення $a_{ij} > a_{ih}$ читається як: “для i -го виборця j -та альтернатива переважає h -у альтернативу”; N – кількість виборців; M – кількість кандидатів на виборчу посаду.

Оскільки суворо ранжирувати альтернативи за якісними ознаками важко навіть для експертів, умову $a_{ij} > a_{ih}$ замінюють на умову бінарного відношення квазіпорядку $a_{ij} \geq a_{ih}$ – “ j -та альтернатива для i -го виборця принаймні настільки ж переважна, як і h -а альтернатива” [10, с. 38; 11, с. 105; 16; 17, с. 144]. Така ситуація виникає й при рівності набраних балів (за результатами схвального голосування), тому ця умова застосовується і в нашому дослідженні в такому сенсі: “для i -го виборця h -й кандидат не менш кращий, ніж j -й кандидат”.

Далі на етапі підрахунку голосів для кожного j -го кандидата визначаються суми балів (очок) (критерій Борда́):

$$BD_j = \sum_{\substack{h=1; \\ h \neq j}}^{M-1} b_{jh} = \sum_{\substack{h=1; \\ h \neq j}}^{M-1} \sum_{i=1}^N L_{ijh}, \quad (2)$$

де b_{jh} – сума балів, набрана j -м кандидатом у порівняннях з h -м кандидатом (число виборців, для яких кандидат j більше до вподоби, ніж кандидат h), які потім ранжируються. При цьому за останнє місце призначається 0 очок, за передостаннє – 1 очко і т. д. до $(M-1)$ очок – за перше місце. Переможцем визнається кандидат, який отримав найвищий абсолютний результат. Відомі модифікації метода Борда́, в яких розглядаються інші ваги рангів.

В роботі [23] було показано, що з урахуванням відносної компетентності (c_i) виборців друга сума у формулі (2) може бути записана як:

$$BD_j = \sum_{\substack{h=1; \\ h \neq j}}^{M-1} b_{jh} = \sum_{\substack{h=1; \\ h \neq j}}^{M-1} \sum_{i=1}^N L_{ijh} c_i, \quad (3)$$

де η – найбільший загальний дільник для значень c_i . При цьому

$$c_i = \eta k_i, \quad (4)$$

де k_i – число виборців з однаковою компетентністю η , у сукупності еквівалентних

виборцю з компетентністю c_i .

В розвиток правила Борда Симпсон (1965) запропонував визначати переможця не за сумою (2), а як найменшу величину з множини величин b_{jh} за умови $j \neq h$:

$$c_i = \eta k_i, \tag{5}$$

Перемагає кандидат, який отримав найвищу оцінку Симпсона.

Правило Кондорсе (1785) [2, с. 196; 11, с. 101; 13, с. 15; 15, с. 301] відрізняється від правила Борда тим, що на основі сум $b_{jh} = \sum_{i=1}^N L_{ijh}$ будується групова квадратна матриця відношень (D), елементи якої визначаються за формулою:

$$d_{jh} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } b_{jh} > b_{hj}; \\ 0, & \text{якщо } b_{jh} = b_{hj}; \\ -1, & \text{якщо } b_{jh} < b_{hj}. \end{cases} \tag{6}$$

Підсумки за рядками цієї матриці показують, скільки виборців віддали перевагу кожному кандидатові, і переможцем стає кандидат, який “подолав” усіх опонентів у парних порівняннях, тобто реалізується принцип більшості. Нулі поза межами головної діагоналі D-матриці свідчать, що отримане відношення не є відношенням строгого порядку. Таке явище може мати місце для парного N.

Для врахування відносної компетентності (c_i) експертів у роботі [23] було запропоновано замість (3) будувати матрицю парних порівнянь за результатами, представленими у полярній шкалі:

$$\tilde{L}_{ijh} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } a_{ij} > a_{ih} \\ 0, & \text{якщо } a_{ij} = a_{ih}, \\ -1, & \text{якщо } a_{ij} < a_{ih} \end{cases} \tag{7}$$

тоді елементи узагальненої матриці парних порівнянь кандидатів мають обчислюватися за формулою:

$$\tilde{d}_{ih} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \sum_{j=1}^M c_i \tilde{L}_{ijh} > 0 \\ 0, & \text{якщо } \sum_{j=1}^M c_i \tilde{L}_{ijh} = 0, \\ -1, & \text{якщо } \sum_{j=1}^M c_i \tilde{L}_{ijh} < 0 \end{cases} \tag{8}$$

Однак оцінювати компетентність виборців на кшталт експертів навряд чи доцільно.

Існують ситуації (так званий парадокс Кондорсе), коли правило Кондорсе не дозволяє виявити переможця. Це пов’язано з виникненням циклів відношень (контурів у графі відношень), тобто порушеннями транзитивності індивідуальних профілів, причиною чого може бути непослідовність суджень виборців та/або штучне формування первинної шкали вимірювання.

Виявити порушення транзитивності відношень M об’єктів можна шляхом підрахунку кількості циклічних тріад у матриці D за формулою [38]:

$$\delta = \frac{1}{6} \cdot M(M-1)(M-2) - \frac{1}{2} \cdot \sum_{j=1}^M s_j(s_j-1), \tag{9}$$

де $s_j = \sum_{h, d_{jh} > 0} d_{jh}$ – рядкові суми невід’ємних елементів матриці D.

Далі визначається коефіцієнт сумісності [38, с. 160]:

$$\begin{cases} \zeta = 1 - \frac{24\delta}{M^3 - M}, & \text{якщо } M - \text{непарне;} \\ \zeta = 1 - \frac{24\delta}{M^3 - 4M}, & \text{якщо } M - \text{парне.} \end{cases} \tag{10}$$

Для $M > (5-6)$ суттєвість коефіцієнта сумісності перевіряється виконанням Н1 гіпотези щодо його невинності. Для цього використовуються критерій χ^2 -Пірсона:

$$\chi^2 = \frac{8}{M-4} \left(\frac{1}{4} C_M^3 - \delta + \frac{1}{2} \right) + df \quad (11)$$

де df – число степенів свободи:

$$\chi^2 = \frac{8}{M-4} \left(\frac{1}{4} C_M^3 - \delta + \frac{1}{2} \right) + df \quad (12)$$

Якщо $\chi^2 \geq \chi_{кр}^2(df, 1 - \alpha)$, де α – рівень значущості, то величина α і є шуканим показником суттєвості коефіцієнта сумісності. Починаючи з $\alpha > 0,05$ можна вважати, що величина δ не є випадковою, і оцінити ймовірність перевищення δ .

Єдиним варіантом, коли парадокси Кондорсе не виникають, є вибір між двома кандидатами. Звідси слідує, що виборчий процес без проблем відбувається лише у двопартійних державах, точніше, коли владу реально виборюють лише дві партії. Така ситуація має місце у США, Великій Британії, Австралії, Канаді, Японії, Індії [18].

Втім підхід Кондорсе отримав подальший розвиток, породивши клас правил голосування (“слухних за Кондорсе”), побудованих на аксіомах (умовах), виконання яких приводить до результату виборів за Кондорсе, якщо він існує [3, 4, 14, 15, 16, 18, 23, 31]. До цього класу правил належать: метод Доджсона, в якому ранжування відбувається за кількістю голосів, яких не вистачило для досягнення половини від усіх, хто голосував; процедура Нансона; узагальнені (зважені) правила Борда та Сімпсона; метод Коупленда, згідно з яким для кожного кандидата визначається кількість опонентів, яких він випереджає і яким він “програє”, в парних порівняннях за простою більшістю голосів – за убуванням різниці цих показників (функції Коупленда) здійснюється ранжування претендентів; метод Фішберна, в якому ранжирування відбувається за кількістю “перемог”, визначених за простою кількістю голосів; правило бінарного дерева [24], протокол Блека та інші [4, гл. 10; 25]. Названі правила часто використовуються для пошуку альтернативного переможця та складання узагальненого рейтингу альтернатив (попереднього порядку) у випадку, коли переможця за Кондорсе не існує.

Якщо розглядати стадію знаходження консолідованого рейтингу як прийняття рішення щодо вибору найкращої альтернативи за однією ознакою в умовах повної невизначеності, тоді не можна ігнорувати такі принципи узгодження, як критерій Вальда (максимін), правило максимакс, критерій Севіджа (мінімакс), правило Гурвіца. Вимагає дослідження можливість їх застосування у виборчих технологіях.

Наукові результати, подані у цій статті, отримано при виконанні НДР з реєстраційним номером 0118U006677, 01.01.2019–31.12.2022.

(Продовження слідує)

Список використаних джерел

1. Алескеров Ф. Т., Хабина Э. Л., Шварц Д. А. Бинарные отношения, графы и коллективные решения. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 344 с.
2. Математические методы в социальных науках. Сб. статей под ред. П. Лазарсфельда и Н. Генри. М.: «Прогресс», 1973. 354 с.
3. Миркин Б. Г. Проблема группового выбора. М.: «Наука», Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. 256 с.
4. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели. Пер. с англ. М.: «Мир», 1991. 464 с.
5. Алескеров Ф. Т., Ортешук П. Выборы. Голосование. Партии. М.: «Академия», 1995. 208 с.
6. Вольский В. И., Лезина З. М. Голосование в малых группах: процедуры и методы сравнительного анализа. М.: «Наука». Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. 192 с.
7. Эрроу К. Дж. Коллективный выбор и индивидуальные ценности. М.: Изд-во ГУ ВШЭ, 2004. 107 с.
8. Литвак Б. Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. М.: «Радио и связь», 1982. 184 с.
9. Мюллер Д. Общественный выбор III. Пер. с англ. Под ред. А. П. Заостровцева, А. С. Скоробогатова. М.: Гос. ун-т – Высшая школа экономики, Институт «Экономическая школа», 2007. 994 с.
10. Статистическое измерение качественных характеристик. Пер. с англ. Под ред. Е. М. Четыркина. М.: «Статистика», 1972. 172 с.

11. Волошин О. Ф., Машенко С. Ф. Моделі та методи прийняття рішень: навч. посіб. для ст. вищ. навч. закл. 2-ге вид. перероб. та допов. К.: Вид.-полігр. центр «Київський університет», 2010. 336 с.
12. Нуреев, Р. М. Теория общественного выбора. Курс лекций: учеб. пособ. для вузов. Гос. ун-т – Высшая школа экономики. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2005. 531 с.
13. Клима Р. Э., Ходж Дж. К. Математика выборов. М.: МЦНМО, 2007. 224 с.
14. Кичмаренко О. Д., Огуленко А. П. Теория принятия решений. Раздел: Теория голосования. Одесса: Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова, 2013. 52 с.
15. Петровский А. Б. Теория принятия решений: учеб. для студ. вузов. М.: «Академия», 2009. 400 с.
16. Торра В. Математика и выборы. Принятие решений. Пер. с исп. М.: Де Агостини, 2014. 160 с.
17. Tangian A. Mathematical Theory of Democracy. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. 615 p.
18. Худoley Д. М. Парадоксы Кондорсе и их решение // Вестник Пермского университета. Юридические науки. 2017. Вып. 37. С. 288–302.
19. Саати Т. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений // Электронный журнал “Cloud of Science”, 2015. Т. 2. № 1. URL: <http://cloudofscience.ru/>
20. Болтъонков В. А., Куваева В. И., Позняк А. В. Анализ методов консенсусного агрегирования ранговых переваг // Информатика та математичні методи в моделюванні. 2017. Т. 7. № 4. С. 307–317.
21. Статистические методы анализа экспертных оценок // Ученые записки по статистике. 1977. Т. 29. М.: «Наука». 385 с.
22. Тоценко В. Г. Методы та системи підтримки прийняття рішень. Алгоритмічний аспект. К.: «Наукова думка», 2002. 381 с.
23. Тоценко В. Г. Методы определения групповых многокритериальных ординальных оценок с учетом компетентности экспертов // Проблемы управления и информатики. 2005. № 8. С. 84–89.
24. Endriss U. (Ed.). Trends in Computational Social Choice. ILLC, University of Amsterdam, 2017. 402 p.
25. Болтенков В. А., Куваева В. И., Червоненко П. П. Применение методов социального выбора в задачах агрегирования оценок в ранговых шкалах // Системные технологии. 2018. № 2(115). С. 93–102.
26. Мохончук Б. С. Виборча система України як конституційно-правовий інститут: дис. ... канд. юр. наук. UML: http://nauka.nlu.edu.ua/download/diss/Mохонchuk/d_Mохонchuk.pdf
27. Fowler J. H. Turnout in a Small World / The Social Logic of Politics: Personal Networks as Contexts for Political Behaviour. A. Zuckerman (Ed.). Philadelphia: Temple University Press, 2005. P. 269–287.
28. Nickerson D. W. Is Voting Contagious? Evidence from Two Field Experiments // American Political Science Review. 2008. Vol. 102. P. 49–57.
29. O’Connor B., Balasubramanyan R., Routledge B., Smith N. From tweets to polls: Linking text sentiment to public opinion time series // Proceedings of the 4th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media (ICWSM’10). Washington, DC, 2010. P. 122–129.
30. Darwish, K., Magdy W., Zanouda T. Trump vs. Hillary: What Went Viral During the 2016 US Presidential Election // Proceedings of 9th International Conference “Social Informatics”. Oxford, UK, September 13–15, 2017. Part I. P. 143–161.
31. Маракулин В. М. Общественный выбор и политическая конкуренция. URL: http://math.isu.ru/ru/chairs/me/files/materials2010/byk_mar3.pdf
32. Хаханов В. И., Сослакова Т. И., Чумаченко С. В., Литвинова Е. И. Кибер-социальный компьютеринг. Наукоемкие технологии в инфокоммуникациях: обработка информации, кибербезопасность, информационная борьба: моногр. / Под общ. редакцией В. М. Безрука, В. В. Баранника. Харьков: «Лидер», 2017. 600 с.

33. Льюс Р. Д., Райфа Х. Игры и решения. Введение и критический обзор. М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. 643 с.
34. Хоменюк В. В. Элементы теории многоцелевой оптимизации. М.: «Наука». 1983. 125 с.
35. Кокас Гері В. Ціна голосу. Стратегічна координація у виборчих системах світу. К.: «Києво-Могилянська Академія», 2004. 454 с.
36. Бородин А. Д. Согласованность коллективных действий в поведении российских избирателей // Экономический журнал ВШЭ. 2005. № 1. С. 74–81.
37. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование: теория принятия решений: учеб. М.: КНОРУС, 2010. 568 с.
38. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений, СПб.: БХВ-Петербург, 2005, 416 с.
39. Бухарин С. Н., Цыганов В. В. Методы и технологии информационных войн. М.: Академический проект, 2007. 382 с.
40. Качинська К. А., Варичева Д. І., Свириденко С. В. Інтернет-технології: оцінка пріоритетності маніпулювання свідомістю за допомогою методів ранжування // Інформація і право. 2017. № 4(23). С. 49–61.
41. Approval voting. URL: https://ru.qwe.wiki/wiki/Approval_voting.
42. Zadeh L. A. Fuzzy Sets // Inform. a. Control. 1965. No 8. P. 338–353.
43. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: «Мир», 1976. 165 с.
44. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова, М.: «Наука», Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986, 312 с.
45. Poleshchuk O., Komarov E. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 268 p.
46. Полещук О. М. Построение интегральных моделей в рамках нечеткой экспертной информации // Лесной вестник. 2003. № 5. С. 160–167.
47. Полещук О. М. Методы представления экспертной информации в виде совокупности терм-множеств полных ортогональных семантических пространств // Лесной вестник. 2002. № 5. С. 198–216.
48. Полещук О. М. Методы предварительной обработки нечеткой экспертной информации на этапе ее формализации // Лесной вестник. 2003. № 5. С. 160–167.
49. Полещук О. М., Полещук И. А. Нечеткая кластеризация элементов множества полных ортогональных семантических пространств // Лесной вестник. 2003. № 1. С. 117–127.

References

1. Aleskerov F. T., Khabina E. L., Shvarts D. A. (2012). *Binarnyye otnosheniya, grafy i kollektivnyye resheniya [Binary relations, graphs, and collective solutions]*. 2nd ed., rev. and suppl. Moscow: FIZMATLIT [in Russian].
2. Lazarsfeld P., and Genri N. (1973). *Matematicheskiye metody v sotsialnykh naukakh [Mathematical methods in social sciences]*. Moscow: “Progress” [in Russian].
3. Mirkin B. G. (1974). *Problema gruppovogo vybora [The problem of group selection]*. Moscow: «Nauka», Chief editorial office of literature in physics and mathematics [in Russian].
4. Moulin H. (1991). *Kooperativnoye prinyatye resheniy: Aksiomy i modeli [Axioms of Co-operative Decision Making]*. Trans. from English. Moscow: “Mir” [in Russian].
5. Aleskerov F. T., and Orteshuk P. (1995). *Vybory. Golosovaniye. Partii [Elections. Voting. Parties]*. Moscow: “Akademiya” [in Russian].
6. Volskiy V. I., and Lezina Z. M. (1991). *Golosovaniye v malykh gruppakh: protsedury i metody sravnitel'nogo analiza [Voting in small groups: procedures and methods of comparative analysis]*. Moscow: “Nauka”. Chief editorial office of literature in physics and mathematics [in Russian].
7. Arrow K. J. (2004). *Kollektivnyy vybor i individualnyye tsennosti [Social Choice and Individual Values]*. Trans. from English. Moscow: Publishing house of State University – Higher School of Economics [in Russian].
8. Litvak B. G. (1982). *Ekspertnaya informatsiya: Metody polucheniya i analiza [Experimental*

- information: methods for obtaining and analysis]. Moscow: “Radio i svyaz” [in Russian].
9. Mueller D. (2007). *Obshchestvennyy vybor III [Public Choice III]*. Trans. from English. A. P. Zaostrovtshev, A. S. Skorobogatov (Eds.). Moscow: State University – Higher School of Economics, Institute “Economic Scholl” [in Russian].
 10. (1972) Statisticheskoye izmereniye kachestvennykh kharakteristik [Statistical Measurement of Qualitative Characteristics]. Trans. from English. Ye. M. Chetyrkin (Ed.). Moscow: “Statistika” [in Russian].
 11. Voloshin A. F., and Mashchenko S. F. (2010). *Modeli ta metody pryiniattia rishen [Models and methods for decision making]*. 2nd ed., rev. and suppl. Kyiv: “Kyivskiy universitet” [in Ukrainian].
 12. Nureyev R. M. (2005). *Teoriya obshchestvennogo vybora [The theory of public choice]*. Moscow: State University – Higher School of Economics [in Russian].
 13. Klima R. E., and Khodzh Dzh. K. (2007). *Matematika vyborov [The mathematics of elections]*. Moscow: Moscow Center for Continuous Mathematical Education [in Russian].
 14. Kichmarenko A. D., and Ogulenko A. P. (2013). *Teoriya prinyatiya resheniy. Razdel: Teoriya golosovaniya [The theory of decision making. Section: The theory of voting]*. Odessa: Mechnikov State University of Odessa [in Russian].
 15. Petrovskiy A. B. (2009). *Teoriya prinyatiya resheniy [The theory of decision making]*. Moscow: “Akademiya” [in Russian].
 16. Torra V. (2014). *Matematika i vybory. Prinyatiye resheniy [Matemáticas y toma de decisiones]*. Trans. from Spanish. Moscow: De Agostini [in Russian].
 17. Tangian A. (2014). *Mathematical Theory of Democracy*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
 18. Khudoley D. M. (2017). Paradoksy Kondorse i ikh resheniye [Condorcet paradoxes and their solution]. *Vestnik Permskogo universiteta. Yuridicheskiye nauki – Bulletin of Perm University. Law*, 37, 288–302 [in Russian].
 19. Saati T. (2015). *Ob izmerenii neosyazayemogo. Podkhod k odnositelnyim izmereniyam na osnove glavnogo sobstvennogo vektora matritsy parnykh sravneniy [Measuring the intangible. An approach to relative measurements on the basis of the main eigenvector of the matrix of paired comparisons]*. Elektronnyy zhurnal “Cloud of Science” – Electronic journal “Cloud of Science”, vol. 2, issue 1. Retrieved from <http://cloudofscience.ru/>.
 20. Boltenev V. A., Kuvayeva V. I., and Pozniak A. V. (2017). Analiz metodiv konsensusnoho agreguvannya rangovykh perevah [Analysis of median methods for consensus rank preferences aggregation]. *Informatika i matematicheskiye metody v modeliroyanii – Informatics and Mathematical Methods in Simulation*, vol. 7, issue 4, 307–317 [in Ukrainian].
 21. (1977) Statisticheskiye metody analiza ekspertnykh otsenok [Statistical methods for analysis of expert opinions]. *Uchenyye zapiski po statistike – Academic Writings on Statistics*, vol. 29. Moscow: “Nauka” [in Russian].
 22. Totsenko V. G. (2002). *Metody i sistemy pidtrymky pryiniattia rishen. Algoritmichnyi aspekt [Methods and systems for decision making support. The algorithmic aspect]*. Kyiv: “Naukova dumka” [in Ukrainian].
 23. Totsenko V. G. (2005). Metody opredeleniya gruppovykh mnogokriterialnykh ordilnykh otsenok s uchetom kompetentosti ekspertov [Methods for determining group multi-criteria orderly assessments with consideration to the expert competence]. *Problemy upravleniya i informatiki – Problems of Management and Informatics*, 8, 84–89 [in Russian].
 24. Endriss U. (Ed.) (2017). *Trends in Computational Social Choice*. ILLC, University of Amsterdam.
 25. Boltenev V.A., Kuvayeva V.I., and Chervonenko P.P. (2018). Primeneniye metodov sotsialnogo vybora v zadachakh agregirovaniya otsenok v rangovykh shkalakh [Applications of social choice methods in the problems of aggregation of estimates in random scales]. *Sistemnyye tekhnologii – System Technologies*, 2(115), 93–102 [in Russian].
 26. Mokhonchuk B. S. *Vyborcha systema Ukrainy yak konstytatsiino-pravovyi instytut [The election system in Ukraine: a constitutional and legal institute]*. PhD thesis. Retrieved from http://nauka.nlu.edu.ua/download/diss/Moxonchuk/d_Moxonchuk.pdf [in Ukrainian].
 27. Fowler J. H. (2005). Turnout in a Small World. In: *The Social Logic of Politics: Personal Networks as Contexts for Political Behaviour*. A. Zuckerman (Ed.). Philadelphia: Temple

- University Press, pp. 269–287.
28. Nickerson D. W. (2008). Is Voting Contagious? Evidence from Two Field Experiments. *American Political Science Review*, 102, 49–57.
 29. O'Connor B., Balasubramanyan R., Routledge B., Smith N. (2010). From tweets to polls: Linking text sentiment to public opinion time series. *Proceedings of the 4th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media (ICWSM'10)*. Washington, DC, pp. 122–129.
 30. Darwish, K., Magdy W., and Zanouda T. (2017). Trump vs. Hillary: What Went Viral During the 2016 US Presidential Election. *Proceedings of 9th International Conference "Social Informatics"*. Oxford, UK, September 13–15, 2017. Part I, pp. 143–161.
 31. Marakulin V. M. Obshestvennyy vybor i politicheskaya konkurentsia [The social choice and political competition]. URL: http://math.isu.ru/ru/chairs/me/files/materials2010/byk_mar3.pdf [in Russian].
 32. Khakhanov V. I., Soslakova T. I., Chumachenko S. V., and Litvinova Ye. I. (2017). *Kibersotsialnyi kompiyuting. Naukoyemkiye tekhnologii v infokommunikatsiyakh: obrabotka informatsii, kiberbezopasnost, informatsionnaya borba [The cyber-social computing. RD intensive technologies in info-communications: processing of information, cyber-security, and information war]*. V. M. Bezruk, V. V. Barannik (Eds.). Kharkov: "Lider" [in Russian].
 33. Luce D., and Raiffa H. (1961). *Igry i resheniya. Vvedeniye i kriticheskiy obzor [Games and Decisions. Introduction and Critical Survey]*. Trans. from English. Moscow: Publishing house of foreign literature [in Russian].
 34. Khomenyuk V. V. (1983). *Elementy teorii mnogotsel'noy optimizatsii [Elements of multiobjective optimization theory]*. Moscow: "Nauka" [in Russian].
 35. Cox Gary W. (2004). *Tsina holosu. Stratehichna koordynatsiia u vyborchikh systemakh svitu [Making Votes Count. Strategic Coordination in the World's Electoral Systems]*. Trans. from English. Kyiv: National University of Kyiv Mohyla Academy [in Ukrainian].
 36. Borodin A. D. (2005). Soglasovannost kollektivnykh deystviy v povedenii rossiyskikh izbirateley [The concerted action in the behavior of Russian voters]. *Ekonomicheskii zhurnal VSHE – Economic Journal of Higher School of Economics*, 1, 74–81 [in Russian].
 37. Orlov A. I. (2010). *Organizatsionno-ekonomicheskoye modelirovaniye: teoriya prinyatiya resheniy [The organizational and economic modeling: the theory of decision making]*. Moscow: KNORUS [in Russian].
 38. Chernorutskiy I. G. (2005). *Metody prinyatiya resheniy [Methods of decision making]*. Saint-Petersburg: BKhV-Peterburg [in Russian].
 39. Bukharin S. N., Tsyganov V. V. (2007). *Metody i tekhnologii informatsionnykh voyn [Methods and technologies of information wars]*. Moscow: "Akademicheskii proyekt" [in Russian].
 40. Kachynska K. A., Varycheva D. I., and Svyrydenko S. V. (2017). Internet-tekhnolohii: otsinka priorytetnosti manipuliuvannya svidomosti za dopomohoiu metodiv ranzhuvannya [Internet technologies: an assessment of priority of consciousness manipulation by ranking methods]. *Informatsiya i pravo – Information and Law*, 4(23), 49–61 [in Ukrainian].
 41. Approval voting. Retrieved from https://ru.qwe.wiki/wiki/Approval_voting
 42. Zadeh L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Inform. a. Control*, 8, 338–353.
 43. Zadeh L. A. (1976). *Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i yego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy [The concept of linguistic variable and its applications in making approximate decisions]*. Moscow: "Mir" [in Russian].
 44. Pospelov D. A. (Ed.) (1986). *Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in the models of management and artificial intellect]*. Moscow: "Nauka", Chief editorial office of literature in physics and mathematics [in Russian].
 45. Poleshchuk O., and Komarov E. (2011). *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
 46. Poleshchuk A. N. (2003). *Postroyeniye integralnykh modeley v ramkakh nechetkoy ekspertnoy informatsii [Constructing integral models on the basis of fuzzy expert information]*. *Lesnoy vestnik – Forest Bulletin*, 5, 160–167 [in Russian].
 47. Poleshchuk A. N. (2002). *Metody predstavleniya ekspertnoy informatsii v vide sovok-*

- upnosti term-mnozhestv polnykh ortogonalnykh semanticheskikh prostranstv [Methods for presentation of expert information in form of totality of term-sets of full orthogonal semantic spaces]. *Lesnoy vestnik – Forest Bulletin*, 5, 198–216 [in Russian].
48. Poleshchuk A. N. (2003). Metody predvaritel'noy obrabotki nechetkoy ekspertnoy informatsii na etape yeye formalizatsii [Methods for preliminary processing of information at the phase of its formalization]. *Lesnoy vestnik – Forest Bulletin*, 5, 160–167 [in Russian].
49. Poleshchuk A. N., and Poleshchuk I. A. (2003). Nechetkaya klasterizatsiya elementov mnozhestva polnykh ortogonalnykh semanticheskikh prostranstv [Fuzzy clustering of elements of the set of full orthogonal semantic spaces]. *Lesnoy vestnik – Forest Bulletin*, 1, 117–127 [in Russian].

Посилання на статтю:

Сіницький М. Є. Вибірчі системи у цифрову епоху: базові проблеми та нові можливості. Частина I. Огляд проблематики, класичні протоколи колективного вибору. *Науковий вісник Національної академії статистики, обліку та аудиту: зб. наук. пр.* 2020. №4. С. 113-124. doi: 10.31767/nasoa.4-2020.13.